

陕西省不同品种的荞麦氨基酸组成成分分析及营养评价

赵莹, 王伟, 刘存卫

陕西省疾病预防控制中心, 陕西 西安 710054

摘要: **目的** 对陕西省 9 个代表性品种的荞麦进行氨基酸组成成分分析, 比较不同品种荞麦的氨基酸组成, 并做出营养评价, 为荞麦的合理膳食提供选择依据。 **方法** 选取陕西地区 9 种代表性荞麦品种, 研磨成粉, 运用全自动氨基酸分析仪对荞麦全粉的氨基酸成分进行检测分析, 采用模糊识别法、氨基酸评分 (amino acid score, AAS) 法、化学评分 (chemistry score, CS) 法及氨基酸比值系数 (ratio coefficient of amino acid, RCAA) 法从不同角度对不同品种的荞麦进行蛋白质营养价值的评估。 **结果** 9 个品种的荞麦样品中均检出 18 种氨基酸, 氨基酸总量 (total amino acids, TAA) 介于 9.237 g/100 g~16.287 g/100 g 之间, 必需氨基酸/氨基酸总量 (essential amino acids/total amino acids, EAA/TAA) 的值在 0.348~0.375 之间, 各品种的功能性氨基酸和呈味氨基酸含量均有差异, 色氨酸含量为 28.197 mg/g~44.521 mg/g, 高于全蛋蛋白模式 (17 mg/g)。9 个品种的第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸, 苯丙氨酸+酪氨酸的 RCAA 为 0.867~1.099, 与模式值偏离程度最小; 赖氨酸次之, 为 0.751~0.914。西农 1513 的 EAA 含量 (5.691 g/100 g)、蛋白贴近度 (0.891)、氨基酸比值系数分 (score of RCAA, SRCAA) (48.083) 均为最高, 8 种 EAA 的组成最均衡。灰苦荞的必需氨基酸指数 (essential amino acid index, EAAI) 值 (0.891) 最高, 为良好蛋白源。温沙的 AAS (92.840) 和 CS (57.007) 评分最高。 **结论** 9 种荞麦氨基酸种类齐全, 氨基酸组成及其蛋白质营养价值存在差异, 可根据不同营养需求进行合理开发。苯丙氨酸+酪氨酸、赖氨酸和色氨酸含量丰富, 与富含蛋氨酸和胱氨酸的食物结合食用, 可有效提高荞麦蛋白质的生物利用率。综合多种评价方式, 西农 1513、灰苦荞和温沙为最具推广价值的 3 个品种。

关键词: 荞麦; 陕西省; 氨基酸; 营养评价

中图分类号: R151.4⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1006-3110(2022)12-1477-07 DOI: 10.3969/j.issn.1006-3110.2022.12.017

Amino acid composition and nutritional value evaluation of different buckwheat varieties in Shaanxi Province

ZHAO Ying, WANG Wei, LIU Cun-wei

Shaanxi Provincial Center for Disease Control and Prevention, Xi'an, Shaanxi 710054, China

Abstract: **Objective** To analyze the amino acid composition of nine representative buckwheat varieties in Shaanxi Province, to compare the amino acid composition of different buckwheat varieties and make a nutritional evaluation, and to provide a basis for reasonable diet selection of buckwheat. **Methods** Nine representative buckwheat varieties in Shaanxi Province were selected and grinded into flour. The content of amino acids in the buckwheat flour was detected and analyzed by automatic amino acid analyzer. The nutritional values of proteins of different buckwheat varieties were evaluated by Fuzzy distinguish method, amino acid score (AAS) method, chemistry score (CS) method and ratio coefficient of amino acid (RCAA) method. **Results** Eighteen kinds of amino acids were detected in 9 varieties of buckwheat flour. The total amount of amino acids (TAA) ranged from 9.237 g/100 g to 16.287 g/100 g, and the value of essential amino acids/total amino acids (EAA/TAA) from 0.348 to 0.375. The contents of functional amino acids and flavorful amino acids were dissimilar among the different varieties. The content of tryptophan was 28.197 mg/g~44.521 mg/g, which was higher than that of whole egg protein (17 mg/g). The first limiting amino acid in the nine varieties of buckwheat was methionine+cystine, and RCAA of phenylalanine+tyrosine ranged from 0.867 to 1.099, which was the least deviation from the model value, followed by lysine, with a range of 0.751~0.914. The content of EAA (5.691 g/100 g), fuzzy degree of nearness (0.891) and score of RCAA (48.083) of Xinong 1513 were the highest, and the composition of 8 varieties of EAA was optimum balance. The essential amino acid index (EAAI) value of Tartary buckwheat was the highest (0.891), which was a good protein source. Wensha had the highest AAS (92.840) and CS (57.007) scores. **Conclusion** The nine buckwheat varieties have a complete amino acid profile, but there are differences in amino acid composition and protein nutritional value, which can be rationally developed according to different nutritional requirements. They are rich in phenylalanine+

tyrosine, lysine and tryptophan. It can effectively improve the bioavailability of buckwheat protein by combining with foods rich in methionine and cystine. All the evaluation methods show that Xinong 1513, Tartary buckwheat and Wensha are the three varieties with the most popularization value.

Keywords: buckwheat; Shaanxi Province; amino acid; nutritional evaluation

随着居民生活水平的提升及健康保健意识的增强,全谷物膳食越来越受到关注,人们对营养价值更高但口感粗糙的燕麦、荞麦等杂粮的接受度日渐增加。荞麦是蓼科荞麦属一年生草本植物,在我国有悠久的种植历史,具有生长周期短,产量稳定,营养价值丰富的特点,是一种重要的粮食作物。荞麦中含有丰富的膳食纤维、维生素及微量元素,还含有其他谷类作物没有的黄酮类化合物,如芦丁、槲皮素等药用功能成分,具有降血糖、降血脂、抗氧化等重要的食疗保健作用。荞麦中含有丰富的蛋白质,其必需氨基酸(essential amino acids, EAA)含量充足,尤其富含一般谷类作物比较缺乏的赖氨酸因而具有较高的营养价值^[1]。食品制作中,多以荞麦粉与小麦面粉混合使用,改善荞麦的加工特性,同时也能弥补小麦粉的营养缺陷,达到营养互补的作用。我国荞麦主要分布于内蒙古、陕甘宁、云贵川等地区,陕西省的陕北地区是我国重要的荞麦产区^[2]。本研究选取陕西省陕北地区产 9 种代表性荞麦,测定其氨基酸的含量组成,考察各品种氨基酸组分的差异。采用模糊识别法,氨基酸评分(amino acid score, AAS)法、化学评分(chemistry score, CS)法和氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RCAA)法对不同品种荞麦中 EAA 的组成进行营养价值评价,为合理利用荞麦制品的蛋白质营养提供理论依据。

1 试验部分

1.1 仪器与试剂 全自动氨基酸分析仪(L-8900,日本 Hitachi 有限公司),电子分析天平(CPA225D,德国 Sartorius 有限公司),多样品平行蒸发浓缩仪(Syncore Analyst,瑞士 Buchi 有限公司),高速离心机(CR22N,日本 Hitachi 有限公司)。酸混合氨基酸标准溶液,17 种待测氨基酸浓度均为 2.50 μmol/mL(ID:013-08391,日本 Wako Pure 化学工业有限公司),色氨酸标准物质(ID:L9T2-1RGF,中国食品药品检定研究院)。

1.2 仪器工作条件 磺酸型阳离子交换树脂色谱柱,柱温:50 ℃,反应柱温度:135 ℃,缓冲液流量:0.1 ml/min,茚三酮流量:0.1 ml/min,进样体积:20.0 μl,检测波长:570 nm 和 440 nm。

1.3 试验方法

1.3.1 样品的制备 选取陕西省陕北榆林地区荞麦

的 9 种代表性种植品种,依次为:西农 9976、西农 9978、西农 1513、榆荞 4 号、西农 9940、灰苦荞、定边大甜荞、靖边大田荞、温沙。每个产地种植区分别选取 5 个种植点采集样品,等量混合,“四分法”缩分后作为各自产地样品。将样品粉碎研磨成粉,真空分装,冷冻储存,备用。

1.3.2 样品的检测 参照《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》(GB/T 5009.124-2016)^[3]、《饲料中含硫氨基酸测定离子交换色谱法》(GB/T 15399-2018)^[4]和《饲料中氨基酸的测定》(GB/T 18246-2019)^[5],使用全自动氨基酸分析仪对 18 种氨基酸进行测定^[6]。样品的前处理使用 3 种方法:使用常规酸水解法,以 6 mol/L 盐酸作为酸解剂,110 ℃下酸水解后上机进行天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸和精氨酸含量的检测;使用氧化酸水解法,氢溴酸作为终止剂,样品经甲酸氧化,6 mol/L 盐酸酸解,上机进行胱氨酸和蛋氨酸含量的检测;使用碱水解法,以 4 mol/L 氢氧化锂作为碱解剂,110 ℃下碱水解后上机进行色氨酸含量的检测。每个样品平行测定 2 次,取平均值作为最终结果。

1.3.3 分析评价 为比较不同品种荞麦中氨基酸的组成,评价样品中氨基酸的质量,将样品中各 EAA 的含量转化为氨基酸比重,再根据各种评价体系进行营养价值评定。

1.3.3.1 模糊识别法 根据兰氏距离法^[7-8]定义对象 u 和标准蛋白模式 a 的贴度 $\mu(a, u)$, μ 可以反映待评价蛋白质与模式蛋白(全蛋蛋白)的接近程度。其中, μ 的数值越接近 1,表明该蛋白质与模式蛋白接近程度越高。计算公式为:

$$\mu(a, u_i) = 1 - 0.09 \sum_{k=1}^8 \frac{|a_k - u_{ik}|}{a_k + u_{ik}}$$

式中: a_k 为全蛋蛋白模式的第 k 种 EAA 的含量(mg/g), $1 \leq k \leq 8$; u_{ik} 为第 i 个评价对象的第 k 种 EAA 的含量(mg/g), $1 \leq k \leq 8$ 。

1.3.3.2 AAS 法 AAS 法是根据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)和联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United, FAO)进行蛋白质营养价值的 EAA 评价模式,即所含的 EAA

组成比例越接近人体需要,食物的营养价值越优^[9]。

各 EAA 的 AAS 根据下式计算:

$$AAS = \frac{\text{待测样品蛋白质中 EAA 的含量 (mg/g)}}{\text{WHO/FAO 评价模式中相应 EAA 的含量 (mg/g)}} \times 100$$

AAS 值越接近 100,说明待测样品蛋白质中的某一 EAA 含量与模式蛋白中的相应氨基酸含量越接近,其营养价值就越高。AAS 值低于 100 的为限制氨基酸,其中值最小的为第一限制氨基酸^[10],其 AAS 为该评价蛋白质的氨基酸评分。

1.3.3.3 CS 法 CS 法是根据 FAO 进行蛋白质营养价值的 EAA 评价模式,即所含的 EAA 组成比例与人体需要最接近的全蛋蛋白模式越接近,食物的营养价值越优^[11]。各 EAA 的 CS 根据下式计算:

$$CS = \frac{\text{待测样品蛋白质中 EAA 的含量 (mg/g)}}{\text{全蛋蛋白模式中相应 EAA 的含量 (mg/g)}} \times 100$$

CS 值越接近 100,说明待测样品蛋白质中的某一 EAA 含量与全蛋蛋白模式中的相应氨基酸含量越接近,其营养价值就越高。CS 值低于 100 的为限制氨基酸,其中值最小的为第一限制氨基酸,其 CS 为该评价蛋白质的化学评分。

1.3.3.4 RCAA 法 RCAA 是氨基酸比值 (ratio of amino acid, RAA) 与所有 EAA 的 RAA 均数的比值。该方法消除了食物氨基酸和模式氨基酸在量上的差别,可以反映食物中氨基酸含量与模式氨基酸的偏离程度。如果食物中氨基酸组成与 WHO/FAO 模式氨基酸一致,则各种氨基酸的 RCAA 应该等于 1。数值大于或者小于 1 都表示偏离氨基酸模式,若 RCAA > 1 表明该氨基酸相对过剩;若 RCAA < 1 表明该氨基酸相对不足。RCAA 值最小的氨基酸为食物中第一限制氨基酸。氨基酸比值系数分 (score of RCAA, SRCAA) 越接近 100,表明氨基酸在生理平衡方面所做的贡献越大,蛋白质相对营养价值越高^[12]。必需氨基酸指数 (essential amino acid index, EAAI) 以模式蛋白的 EAA 为评定的标准,根据 Oser 等^[13]提出的方法计算各项氨基酸比值的几何平均值。待测样品中 EAAI 越接近于 1,蛋白质与模式蛋白拟合度越高。EAAI > 0.95 为优质蛋白源,0.86 < EAAI ≤ 0.95 为良好蛋白源,0.75 ≤ EAAI ≤ 0.86 为可用蛋白源,EAAI < 0.75 为不适蛋白源。RAA、RCAA、SRCAA 和 EAAI 按下列公式计算:

$$RAA = \frac{\text{待测样品蛋白质中某种 EAA 的含量 (mg/g)}}{\text{WHO/FAO 评价模式中相应 EAA 的含量 (mg/g)}}$$

$$RCAA = \frac{\text{待测样品蛋白质中某种 EAA 的 RAA}}{RAA}$$

$$CV = \frac{RCAA \text{ 的标准差}}{RCAA \text{ 的平均数}}$$

$$SRCAA = 100 \times (1 - CV)$$

EAAI = $\sqrt[8]{\text{8 种 EAA 的 RAA 乘积}}$

1.4 统计学分析 所有数据经 Excel 2010 整理,并计算出样品中各氨基酸含量的平均值、标准差及各种评价方法的指标得分;使用 SPSS 25.0 软件进行统计学 ANOVA 单因素方差分析处理, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同品种荞麦的氨基酸组成成分分析 9 个品种的荞麦氨基酸总量 (total amino acid, TAA) 在 9.237 g/100 g ~ 16.287 g/100 g 之间,含量由高到低的排序依次为:西农 1513 > 定边大甜荞 > 榆荞 4 号 > 西农 9978 > 西农 9976 > 靖边大田荞 > 温沙 > 西农 9940 > 灰苦荞,榆荞 4 号和定边大甜荞,西农 9976 和西农 9978,西农 9940 和灰苦荞之间的 TAA 含量差异无统计学意义 ($P > 0.05$),其余品种的 TAA 含量差异有统计学意义 ($P < 0.05$),TAA 含量最高的西农 1513 比含量最低的灰苦荞高出将近 2 倍。9 种荞麦的 18 种氨基酸种类齐全,谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、赖氨酸、甘氨酸、丝氨酸、苯丙氨酸的含量较高,约占 TAA 的 70%。所有荞麦中 8 种 EAA 的量介于 3.462 g/100 g ~ 5.691 g/100 g,亮氨酸的含量最高,为 0.628 g/100 g ~ 1.103 g/100 g;蛋氨酸的含量最低,为 0.151 g/100 g ~ 0.280 g/100 g。西农 1513 的 EAA 总量最高,与其他品种差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。9 个品种的非必需氨基酸 (non-essential amino acids, NEAA) 含量为 5.775 g/100 g ~ 10.596 g/100 g,各品种 EAA 和 NEAA 含量的排序和差异情况与 TAA 一致。EAA/TAA 在 0.348 ~ 0.375 之间,EAA/NEAA 在 0.533 ~ 0.600 之间,EAA/TAA 和 EAA/NEAA 的值与 WHO/FAO 提出的建议值 (EAA/TAA 为 0.40, EAA/NEAA 为 0.60) 非常接近。灰苦荞和西农 9940 的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 的值最高,EAA 和 NEAA 的比例更为合理,两个品种之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$),两者与其他品种之间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。除色氨酸以外,9 个品种其余 17 种氨基酸的含量最高的均为西农 1513,与其他品种之间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。西农 9978 的色氨酸含量最高,与其他品种之间差异有统计学意义 ($P < 0.05$),见表 1。

9 个品种呈味氨基酸含量从高到低为:苦味氨基酸 (4.093 g/100 g ~ 7.387 g/100 g) > 鲜味氨基酸 (2.450 g/100 g ~ 4.513 g/100 g) > 甜味氨基酸 (1.810 g/100 g ~ 3.068 g/100 g);西农 1513 在每种呈味氨基酸中含量均为最高,与其他品种之间差异有统

计学意义($P<0.05$)。虽然西农 1513 甜味氨基酸与苦味氨基酸含量最高,但是二者比值最高的为温沙,与其他品种之间差异有统计学意义($P<0.05$),因此西农

1513 的鲜味最浓,而 9 种荞麦中口感最好的为温沙,见表 1。

表 1 陕西省不同品种荞麦的氨基酸含量(g/100 g)

氨基酸种类	西农 9976	西农 9978	西农 1513	榆荞 4 号	西农 9940	灰苦荞	定边大甜荞	靖边大田荞	温沙
亮氨酸	0.888±0.080 ^{bc}	0.913±0.057 ^b	1.103±0.012 ^a	0.947±0.004 ^b	0.677±0.004 ^{de}	0.628±0.005 ^e	0.951±0.007 ^b	0.826±0.005 ^c	0.728±0.008 ^d
异亮氨酸	0.482±0.041 ^{bc}	0.492±0.032 ^{bc}	0.597±0.006 ^a	0.522±0.003 ^b	0.404±0.003 ^d	0.379±0.004 ^d	0.521±0.003 ^b	0.451±0.004 ^c	0.396±0.004 ^d
赖氨酸	0.811±0.051 ^c	0.827±0.024 ^{bc}	1.028±0.016 ^a	0.847±0.003 ^{bc}	0.575±0.005 ^f	0.560±0.006 ^f	0.863±0.005 ^b	0.744±0.005 ^d	0.669±0.008 ^e
苏氨酸	0.511±0.035 ^{cd}	0.521±0.032 ^{bcd}	0.625±0.001 ^a	0.544±0.002 ^{bc}	0.388±0.003 ^f	0.376±0.004 ^f	0.553±0.004 ^b	0.484±0.004 ^d	0.434±0.005 ^e
缬氨酸	0.640±0.047 ^c	0.662±0.048 ^c	0.779±0.004 ^a	0.716±0.002 ^b	0.531±0.004 ^d	0.509±0.007 ^d	0.719±0.005 ^b	0.624±0.005 ^c	0.552±0.006 ^d
蛋氨酸	0.160±0.036 ^c	0.154±0.044 ^c	0.280±0.014 ^a	0.177±0.001 ^c	0.151±0.002 ^c	0.162±0.001 ^c	0.230±0.002 ^b	0.174±0.001 ^c	0.168±0.002 ^c
胱氨酸*	0.156±0.049 ^{bc}	0.188±0.029 ^b	0.234±0.061 ^a	0.207±0.002 ^b	0.102±0.002 ^c	0.097±0.001 ^c	0.210±0.001 ^b	0.194±0.001 ^b	0.183±0.002 ^b
苯丙氨酸	0.658±0.061 ^b	0.679±0.020 ^b	0.820±0.017 ^a	0.685±0.002 ^b	0.490±0.004 ^d	0.436±0.002 ^e	0.676±0.005 ^b	0.587±0.003 ^c	0.499±0.007 ^d
酪氨酸*	0.397±0.054 ^{bc}	0.429±0.013 ^b	0.530±0.026 ^a	0.407±0.003 ^b	0.292±0.001 ^d	0.269±0.001 ^d	0.391±0.006 ^{bc}	0.351±0.003 ^c	0.304±0.004 ^d
丝氨酸*	0.683±0.048 ^{cd}	0.705±0.040 ^{bc}	0.825±0.006 ^a	0.729±0.002 ^{bc}	0.509±0.004 ^{ef}	0.493±0.005 ^f	0.739±0.006 ^b	0.651±0.010 ^d	0.552±0.006 ^e
甘氨酸*	0.792±0.057 ^{cd}	0.825±0.051 ^{bc}	0.988±0.013 ^a	0.858±0.004 ^b	0.571±0.005 ^f	0.558±0.005 ^f	0.849±0.007 ^{bc}	0.760±0.009 ^d	0.662±0.007 ^e
精氨酸*	1.435±0.117 ^{bc}	1.528±0.089 ^b	1.746±0.039 ^a	1.536±0.006 ^b	0.948±0.008 ^{ef}	0.871±0.007 ^e	1.546±0.009 ^b	1.337±0.009 ^c	1.070±0.012 ^d
组氨酸*	0.384±0.016 ^b	0.390±0.010 ^b	0.505±0.016 ^a	0.378±0.001 ^b	0.282±0.002 ^{de}	0.277±0.002 ^e	0.397±0.003 ^b	0.342±0.003 ^c	0.299±0.003 ^d
丙氨酸*	0.579±0.038 ^{cd}	0.576±0.038 ^{cd}	0.688±0.002 ^a	0.614±0.003 ^{bc}	0.444±0.003 ^f	0.431±0.006 ^f	0.622±0.003 ^b	0.542±0.005 ^d	0.497±0.005 ^e
天冬氨酸*	1.290±0.094 ^{cd}	1.336±0.084 ^{bc}	1.572±0.013 ^a	1.389±0.005 ^{bc}	0.955±0.008 ^{ef}	0.915±0.009 ^f	1.407±0.011 ^b	1.225±0.007 ^d	1.050±0.012 ^e
谷氨酸*	2.415±0.166 ^{cd}	2.531±0.158 ^{bc}	2.941±0.016 ^a	2.637±0.009 ^b	1.608±0.012 ^f	1.535±0.016 ^f	2.656±0.021 ^b	2.287±0.011 ^d	1.911±0.022 ^e
脯氨酸*	0.473±0.031 ^c	0.474±0.030 ^c	0.567±0.005 ^a	0.521±0.001 ^b	0.340±0.005 ^e	0.328±0.002 ^e	0.529±0.004 ^b	0.457±0.001 ^c	0.410±0.006 ^d
色氨酸	0.505±0.020 ^c	0.545±0.002 ^a	0.459±0.001 ^c	0.505±0.002 ^c	0.377±0.001 ^g	0.411±0.002 ^f	0.521±0.001 ^b	0.478±0.002 ^d	0.408±0.001 ^f
TAA	13.259±0.831 ^{cd}	13.776±0.632 ^{bc}	16.287±0.175 ^a	14.220±0.047 ^b	9.645±0.066 ^f	9.237±0.073 ^f	14.380±0.102 ^b	12.514±0.085 ^d	10.791±0.117 ^e
EAA	4.655±0.259 ^c	4.793±0.167 ^{bc}	5.691±0.034 ^a	4.943±0.014 ^b	3.593±0.026 ^f	3.462±0.025 ^f	5.032±0.032 ^b	4.367±0.028 ^d	3.853±0.039 ^e
EAA/TAA	0.351±0.002 ^c	0.348±0.004 ^c	0.349±0.002 ^c	0.348±0.001 ^c	0.373±0.001 ^a	0.375±0.001 ^a	0.350±0.001 ^c	0.349±0.001 ^c	0.357±0.001 ^b
NEAA	8.604±0.572 ^{cd}	8.984±0.465 ^{bc}	10.596±0.141 ^a	9.277±0.034 ^b	6.052±0.041 ^f	5.775±0.048 ^f	9.347±0.069 ^b	8.146±0.057 ^d	6.938±0.079 ^e
EAA/NEAA	0.541±0.006 ^c	0.534±0.009 ^c	0.537±0.004 ^c	0.533±0.001 ^c	0.594±0.001 ^a	0.600±0.001 ^a	0.538±0.001 ^c	0.536±0.001 ^c	0.555±0.001 ^b
鲜味氨基酸	3.706±0.260 ^{cd}	3.868±0.242 ^{bc}	4.513±0.029 ^a	4.026±0.014 ^b	2.563±0.020 ^f	2.450±0.025 ^f	4.063±0.032 ^b	3.512±0.018 ^d	2.961±0.034 ^e
甜味氨基酸	2.527±0.174 ^c	2.581±0.159 ^{bc}	3.068±0.003 ^a	2.722±0.009 ^b	1.864±0.007 ^e	1.810±0.014 ^e	2.740±0.019 ^b	2.410±0.024 ^c	2.122±0.024 ^d
苦味氨基酸	5.855±0.431 ^c	6.074±0.230 ^{bc}	7.387±0.082 ^a	6.215±0.023 ^{bc}	4.351±0.033 ^{ef}	4.093±0.032 ^f	6.293±0.045 ^b	5.436±0.036 ^d	4.684±0.053 ^e
甜味/苦味	0.432±0.002 ^{cd}	0.425±0.010 ^e	0.415±0.004 ^f	0.438±0.001 ^{bc}	0.428±0.002 ^{de}	0.442±0.001 ^b	0.435±0.001 ^{bcd}	0.443±0.001 ^b	0.453±0.001 ^a
含硫氨基酸	0.316±0.085 ^{cd}	0.342±0.073 ^{bcd}	0.514±0.048 ^a	0.384±0.002 ^{bc}	0.253±0.003 ^d	0.259±0.001 ^d	0.440±0.003 ^{ab}	0.368±0.001 ^{bc}	0.351±0.003 ^{bcd}
芳香族氨基酸	1.560±0.095 ^c	1.653±0.031 ^b	1.809±0.044 ^a	1.598±0.003 ^{bc}	1.159±0.006 ^{ef}	1.117±0.002 ^f	1.588±0.011 ^{bc}	1.416±0.008 ^d	1.210±0.010 ^e
支链氨基酸	2.010±0.168 ^c	2.066±0.137 ^{bc}	2.480±0.015 ^a	2.185±0.009 ^b	1.612±0.011 ^d	1.516±0.015 ^d	2.190±0.016 ^b	1.901±0.013 ^c	1.676±0.018 ^d

注:TAA 为氨基酸总量;EAA 为必需氨基酸;NEAA 为非必需氨基酸;* 为 NEAA;同行各平均数由大到小以 a 至 f 的顺序依次标注字母,标注字母的平均数与同行一切包含该字母标注的平均数之间差异无统计学意义($P>0.05$),与同行所有不包含该字母标注的平均数之间差异有统计学意义($P<0.05$)。

三类功能性氨基酸,含硫氨基酸因其特殊结构,在人体内起着维持自由基平衡和稳定的抗氧化功能^[14];芳香族氨基酸不仅可以增加荞麦的香味,也是人体代谢和蛋白质合成的重要氨基酸,和肠道微生物的活动密切相关^[15];支链氨基酸属于重要的营养补剂,对增肌获能有显著作用,能够促进胰岛素和生长激素的有效释放^[16]。9 种荞麦中这三种功能性氨基酸的含量范围依次为:0.253 g/100 g~0.514 g/100 g、1.117 g/100 g~1.809 g/100 g、1.516 g/100 g~2.480 g/100 g,三者含量最高的均为西农 1513,与其他品种之间差异有统计学意义($P<0.05$);西农 9940 和灰苦荞的含量最低,两者之间差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

2.2 EAA 组成成分比较分析 氨基酸平衡理论认为待测蛋白的氨基酸组成比例与 WHO/FAO 模式或全蛋蛋白模式越接近,表明其蛋白质质量越好。9 种荞麦中 8 种 EAA 的总量为 353.261 mg/g(西农 9978)~

374.302 mg/g(西农 9940),接近 WHO/FAO 模式但是明显低于全蛋蛋白模式。亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、苏氨酸的含量接近或略高于 WHO/FAO 模式;蛋氨酸+胱氨酸的含量低于 WHO/FAO 模式;赖氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸、色氨酸均高于 WHO/FAO 模式;除色氨酸以外,其余所有 EAA 含量均与全蛋蛋白模式有一定差距。从不同品种看,西农 1513 的赖氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸的含量最高,缬氨酸和色氨酸的含量最低;西农 9940 的亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸的含量最高;灰苦荞的苏氨酸和色氨酸含量最高;西农 9978 的异亮氨酸和苏氨酸含量最低;靖边大甜荞的亮氨酸和赖氨酸含量最低;定边大甜荞的苯丙氨酸+酪氨酸含量最低;蛋氨酸+胱氨酸含量最低的为西农 9976,含量最高的为温沙。总的来说,各品种荞麦 EAA 的含量都比较高,但不同品种之间还存在较大差异,因此有必要对各品种的 EAA 情况进行进一步的评价比较,见表 2。

表 2 陕西省不同品种荞麦的 EAA 组成 (mg/g)

品种	亮氨酸	异亮氨酸	赖氨酸	苏氨酸	缬氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	色氨酸	总量
WHO/FAO 模式值	70	40	55	40	50	35	60	10	360
全蛋蛋白模式	86	54	70	47	66	57	93	17	490
西农 9976	66.885±1.865	36.348±0.779	61.142±0.003	38.500±0.227	48.289±0.493	24.100±7.885	79.450±3.715	38.227±3.908	354.716±0.810
西农 9978	66.220±1.069	35.661±0.700	60.086±1.030	37.819±0.610	48.017±1.304	24.958±6.433	80.500±1.269	39.594±1.976	353.261±5.049
西农 1513	67.749±0.036	36.635±0.020	63.116±0.273	38.390±0.458	47.859±0.756	31.540±2.577	82.840±1.735	28.197±0.215	368.131±3.387
榆莽 4 号	66.583±0.027	36.700±0.072	59.534±0.015	38.288±0.006	50.349±0.008	27.012±0.052	76.853±0.056	35.533±0.228	355.319±0.178
西农 9940	70.213±0.026	41.836±0.022	59.618±0.101	40.218±0.035	55.099±0.043	26.263±0.155	81.054±0.012	39.091±0.178	374.302±0.297
灰苦荞	67.988±0.011	41.053±0.093	60.634±0.177	40.729±0.097	55.077±0.288	28.048±0.119	76.400±0.535	44.521±0.584	369.929±0.010
定边大甜荞	66.103±0.044	36.218±0.014	59.993±0.093	38.425±0.017	49.985±0.003	30.587±0.024	74.186±0.225	36.261±0.225	355.497±0.200
靖边大田荞	65.973±0.033	36.026±0.036	59.425±0.022	38.679±0.040	49.884±0.033	29.445±0.095	74.940±0.044	38.203±0.070	354.372±0.041
温沙	67.461±0.001	36.679±0.016	61.964±0.028	40.231±0.044	51.186±0.028	32.494±0.038	74.365±0.220	37.781±0.500	364.380±0.243

2.3 氨基酸营养价值评价

2.3.1 模糊识别法评价结果 经计算,9 种荞麦的蛋白贴适度在 0.861~0.891 之间,均接近于 1,与全蛋蛋白较为贴近,与小麦^[17]、稻米^[18]等谷物作物相比,蛋

白质的组成与模式值更接近。9 个品种中,西农 1513 的蛋白贴适度最高,西农 9978 最低,两者与其他品种差异均有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

表 3 陕西省荞麦的 EAA 评价指标得分

评价标准	氨基酸种类	西农 9976	西农 9978	西农 1513	榆莽 4 号	西农 9940	灰苦荞	定边大甜荞	靖边大田荞	温沙
$\mu(a, u)$		0.864±0.003 ^{ef}	0.861±0.006 ^f	0.891±0.004 ^a	0.870±0.001 ^{cd}	0.882±0.001 ^b	0.876±0.001 ^{bc}	0.872±0.001 ^{cd}	0.869±0.001 ^{de}	0.879±0.001 ^b
AAS	亮氨酸	95.550±2.664 ^{bc}	94.600±1.528 ^{bc}	96.784±0.051 ^{bc}	95.118±0.038 ^{bc}	100.305±0.038 ^a	97.125±0.015 ^b	94.433±0.063 ^c	94.247±0.047 ^c	96.373±0.002 ^{bc}
	异亮氨酸	90.871±1.948 ^{bc}	89.152±1.750 ^c	91.588±0.050 ^b	91.749±0.181 ^b	104.591±0.054 ^a	102.632±0.232 ^a	90.546±0.036 ^{bc}	90.066±0.089 ^{bc}	91.698±0.041 ^b
	赖氨酸	111.168±0.006 ^{bc}	109.248±1.872 ^{de}	114.757±0.497 ^a	108.244±0.027 ^e	108.396±0.183 ^c	110.244±0.322 ^{cd}	109.079±0.169 ^{de}	108.045±0.040 ^c	112.661±0.050 ^b
	苏氨酸	96.250±0.567 ^b	94.547±1.524 ^c	95.976±1.146 ^{bc}	95.719±0.016 ^{bc}	100.545±0.087 ^a	101.822±0.243 ^a	96.062±0.041 ^{bc}	96.698±0.100 ^b	100.579±0.110 ^a
	缬氨酸	96.578±0.986 ^d	96.034±2.608 ^d	95.719±1.512 ^d	100.697±0.017 ^{bc}	110.199±0.086 ^a	110.155±0.576 ^a	99.969±0.005 ^{bc}	99.768±0.067 ^c	102.371±0.057 ^b
	蛋氨酸+胱氨酸	68.858±22.528 ^a	71.308±18.380 ^a	90.115±7.364 ^a	77.179±0.150 ^a	75.038±0.442 ^a	80.137±0.341 ^a	87.391±0.069 ^a	84.129±0.270 ^a	92.840±0.109 ^a
	苯丙氨酸+酪氨酸	132.417±6.191 ^{ab}	134.167±2.115 ^a	138.067±2.892 ^a	128.089±0.094 ^{bc}	135.090±0.021 ^a	127.333±0.892 ^{bc}	123.644±0.375 ^c	124.899±0.074 ^c	123.942±0.367 ^c
	色氨酸	382.267±39.076 ^{bc}	395.938±19.757 ^b	281.973±2.150 ^d	355.332±2.280 ^{cd}	390.913±1.780 ^{bc}	445.206±5.841 ^a	362.610±2.254 ^{bc}	382.026±0.701 ^{bc}	377.814±5.004 ^{bc}
	CS	亮氨酸	77.773±2.168 ^{bc}	77.000±1.243 ^{bc}	78.778±0.042 ^{bc}	77.422±0.031 ^{bc}	81.643±0.031 ^a	79.055±0.012 ^b	76.864±0.051 ^c	76.713±0.039 ^c
异亮氨酸		67.312±1.443 ^{bc}	66.039±1.296 ^c	67.843±0.037 ^b	67.962±0.134 ^b	77.475±0.040 ^a	76.024±0.172 ^a	67.071±0.026 ^{bc}	66.716±0.066 ^{bc}	67.924±0.030 ^b
赖氨酸		87.346±0.005 ^{bc}	85.837±1.471 ^{de}	90.166±0.390 ^a	85.049±0.021 ^e	85.168±0.144 ^c	86.621±0.253 ^{cd}	85.705±0.133 ^{de}	84.893±0.031 ^e	88.519±0.039 ^b
苏氨酸		81.915±0.482 ^b	80.465±1.297 ^c	81.682±0.975 ^{bc}	81.463±0.014 ^{bc}	85.570±0.074 ^a	86.657±0.207 ^a	81.755±0.035 ^{bc}	82.296±0.085 ^b	85.599±0.093 ^a
缬氨酸		73.165±0.747 ^d	72.753±1.976 ^d	72.514±1.146 ^d	76.286±0.013 ^{bc}	83.484±0.065 ^a	83.451±0.437 ^a	75.734±0.004 ^{bc}	75.582±0.050 ^c	77.554±0.043 ^b
蛋氨酸+胱氨酸		42.281±13.833 ^a	43.786±11.286 ^a	55.334±4.522 ^a	47.390±0.092 ^a	46.076±0.272 ^a	49.207±0.209 ^a	53.661±0.042 ^a	51.658±0.166 ^a	57.007±0.067 ^a
苯丙氨酸+酪氨酸		85.430±3.994 ^{ab}	86.559±1.365 ^a	89.075±1.865 ^a	82.638±0.061 ^{bc}	87.155±0.013 ^a	82.150±0.576 ^{bc}	79.770±0.242 ^c	80.580±0.048 ^c	79.963±0.237 ^c
色氨酸		224.863±22.986 ^{bc}	232.905±11.622 ^b	165.866±1.265 ^d	209.019±1.341 ^{cd}	229.949±1.047 ^{bc}	261.886±3.436 ^a	213.300±1.326 ^{bc}	224.721±0.412 ^{bc}	222.244±2.943 ^{bc}
RCAA		亮氨酸	0.713±0.053 ^{bc}	0.698±0.034 ^{bc}	0.770±0.004 ^a	0.723±0.002 ^b	0.713±0.001 ^{bc}	0.661±0.003 ^c	0.710±0.002 ^{bc}	0.698±0.001 ^{bc}
	异亮氨酸	0.678±0.046 ^b	0.658±0.034 ^b	0.729±0.005 ^a	0.698±0.003 ^{ab}	0.744±0.001 ^a	0.699±0.005 ^{ab}	0.681±0.001 ^{bc}	0.667±0.001 ^b	0.668±0.003 ^b
	赖氨酸	0.829±0.038 ^b	0.806±0.012 ^b	0.914±0.001 ^a	0.823±0.001 ^b	0.771±0.002 ^{cd}	0.751±0.006 ^d	0.820±0.001 ^b	0.800±0.001 ^{bc}	0.821±0.004 ^b
	苏氨酸	0.718±0.037 ^b	0.698±0.034 ^b	0.764±0.014 ^a	0.728±0.001 ^{ab}	0.715±0.001 ^b	0.693±0.005 ^b	0.722±0.002 ^{ab}	0.716±0.001 ^b	0.733±0.004 ^{ab}
	缬氨酸	0.720±0.040 ^{bc}	0.709±0.042 ^c	0.762±0.017 ^{ab}	0.766±0.001 ^{ab}	0.784±0.001 ^a	0.750±0.008 ^{abc}	0.752±0.001 ^{abc}	0.739±0.001 ^{abc}	0.746±0.003 ^{abc}
	蛋氨酸+胱氨酸	0.510±0.144 ^c	0.524±0.119 ^{bc}	0.717±0.054 ^a	0.587±0.002 ^{abc}	0.534±0.004 ^{bc}	0.546±0.001 ^{bc}	0.657±0.002 ^{abc}	0.623±0.002 ^{abc}	0.676±0.002 ^{ab}
	苯丙氨酸+酪氨酸	0.988±0.091 ^b	0.990±0.016 ^b	1.099±0.017 ^a	0.974±0.002 ^{bc}	0.961±0.001 ^{bc}	0.867±0.002 ^d	0.930±0.004 ^{bcd}	0.925±0.001 ^{bed}	0.903±0.006 ^{cd}
	色氨酸	2.844±0.161 ^{bc}	2.919±0.052 ^{ab}	2.245±0.030 ^d	2.702±0.013 ^c	2.780±0.010 ^{bc}	3.032±0.025 ^a	2.727±0.012 ^c	2.830±0.003 ^{bc}	2.752±0.025 ^c
	SRCAA	24.070±5.352 ^{de}	21.259±1.640 ^{ef}	48.083±1.157 ^a	30.349±0.499 ^b	27.152±0.411 ^{bcd}	17.393±1.007 ^f	29.676±0.474 ^{bc}	25.482±0.122 ^{cde}	28.775±0.988 ^{bcd}
EAAI	0.826±0.033 ^c	0.829±0.027 ^c	0.834±0.007 ^{bc}	0.831±0.001 ^{bc}	0.879±0.001 ^a	0.891±0.001 ^a	0.841±0.001 ^{bc}	0.842±0.001 ^{bc}	0.866±0.001 ^{ab}	

注:同行各平均数由大到小以 a 至 f 的顺序依次标注字母,标注字母的平均数与同行一切包含该字母标注的平均数之间差异无统计学意义($P>0.05$),与同行所有不包含该字母标注的平均数之间差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3.2 AAS 法评价结果 9 个品种的荞麦中苯丙氨酸+酪氨酸和色氨酸的 AAS 远大于 100, 色氨酸的 AAS 值是 WHO/FAO 模式的 3 倍以上, 亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、苏氨酸和缬氨酸的 AAS 值接近或略大于 100。西农 9940 的亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸的 AAS 最高, 依次为: 100.305、104.591 和 110.199; 灰苦荞的苏氨酸和色氨酸的 AAS 最高, 依次为: 101.822 和 445.206; 西农 1513 的赖氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸的 AAS 最高, 依次为: 114.757 和 138.067。所有品种中蛋氨酸+胱氨酸的 AAS 最低, 均小于 100, 为第一限制氨基酸, 其值为荞麦蛋白的 AAS 评分, 温沙最高为 92.840, 西农 9976 最低为 68.858, 与其他品种之间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。综上, 荞麦的蛋白质营养价值与 WHO/FAO 模式相比有一定差距, 温沙的蛋白质营养价值最高, 见表 3。

2.3.3 CS 法评价结果 除色氨酸以外, 其余所有 EAA 的 CS 值均小于 100, 为各自的限制氨基酸。各种氨基酸在 CS 评价体系中的差异性同 AAS 一致, 蛋氨酸+胱氨酸的 CS 值最小, 为所有荞麦的第一限制氨基酸, 其值为该评价蛋白质的 CS 评分, 介于 42.281~57.007 之间, 即荞麦的蛋白质营养价值与全蛋蛋白模式相比差距十分明显, 9 个品种之间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。温沙的 CS 值最高, 最接近全蛋蛋白模式, 见表 3。

2.3.4 RCAA 法评价结果 事实上, 与模式值相比单个氨基酸占比过高或过低均会影响氨基酸平衡, 因此不能只考虑评估分值最低的氨基酸。RCAA 评价模式可以较为直观地反映样品中氨基酸偏离模式值的离散程度及 EAA 对蛋白质平衡的影响。经计算, 蛋氨酸+胱氨酸的 RCAA 值在 9 种荞麦中均为最低, 属于第一限制氨基酸, 在西农 1513 中最高为 0.717, 在西农 9976 中最低为 0.510, 且两者与其他品种之间差异均有统计学意义 ($P<0.05$)。苯丙氨酸+酪氨酸的 RCAA 最接近于 1, 与模式氨基酸的偏离程度最小, 其中西农 9978 的偏离程度最小; 色氨酸的 RCAA 远大于 1, 相对于模式蛋白较高, 其中灰苦荞的偏离程度最大, 见表 3。

9 种荞麦中, 西农 1513 的 SRCAA 最高为 48.083, 灰苦荞的 SRCAA 最低为 17.393, 可见西农 1513 的氨基酸组成对蛋白质吸收利用的贡献最高, 与其他品种差异有统计学意义 ($P<0.05$)。EAAI 作为评价蛋白质指标时, 值越接近 1, 表明此蛋白质与模式蛋白拟合度越高。9 种荞麦的 EAAI 值在 0.826~0.891 之间, 灰苦荞和西农 9940 的 EAAI 最高, 两者之间差异无统计学

意义 ($P>0.05$); 西农 9976 和西农 9978 的 EAAI 最低, 两者之间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。灰苦荞、西农 9940 和温沙的 EAAI 介于 0.86~0.95 之间, 为良好蛋白源, 其余品种的 EAAI 介于 0.75~0.86 之间, 为可用蛋白源, 见表 3。

3 讨论

食物中蛋白质的营养价值主要取决于氨基酸的组成和比例, EAA 的组成接近于人体必需氨基酸模式可有效提高蛋白质的吸收利用率及应用价值^[19]。通过分析比较, 9 种荞麦中 18 种氨基酸种类齐全且 EAA 比例合理, 是居民膳食中一种重要的植物蛋白质资源。单个氨基酸中含量最高的为谷氨酸, 含量最低的为蛋氨酸, 色氨酸含量高于全蛋蛋白模式。EAA 总量与 WHO/FAO 模式值接近, 与全蛋蛋白模式有一定差距。3 种评价方式的第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸, 温沙的 AAS 和 CS 评分最高, 与模式值最接近。蛋氨酸在保护心肌、肝肾, 降低血压, 清除体内重金属等方面有着重要作用, 胱氨酸能够合成角蛋白, 辅助胰岛素的供给, 促进白细胞增生, 阻止病原菌发育。根据蛋白质互补原则, 有针对性地搭配膳食, 补充单一食物中缺乏的氨基酸有助于提高蛋白质整体的生物利用率^[20]。因此, 推荐在日常饮食中将荞麦搭配肉类、奶制品和坚果等蛋氨酸和胱氨酸含量丰富^[21]的食品同时摄入, 有利于蛋白质的均衡摄入^[22]。通常, 谷物蛋白质的第一限制氨基酸基本为赖氨酸, 如小麦、玉米、稻米等谷类作物。然而, 荞麦中的赖氨酸含量相对丰富, 不具有限制性。赖氨酸在增强机体免疫力、降低胆固醇水平、缓解疼痛和炎症等方面都具有积极的营养学意义, 同时能与一些营养素协同作用, 更好地发挥各种营养素的生理功能^[23]。因此, 在以小麦、玉米和稻米为主食的饮食方式中, 适宜添加荞麦混合食用, 有效利用荞麦中含量丰富的赖氨酸, 达到氨基酸的平衡摄取, 弥补单一谷类作物引发的 EAA 缺乏。

值得注意的是, 西农 9940 的 7 种 EAA 的 AAS 均大于 100, 不具有限制性, 但蛋氨酸+胱氨酸的 AAS 评分较低, 限制了整体的平衡。色氨酸的 AAS 和 CS 评分在所有品种的荞麦中均为最高, 超过 WHO/FAO 模式 3 倍以上, 超过全蛋蛋白模式 2 倍以上, 表明色氨酸在荞麦中的含量丰富, 营养价值突出。色氨酸广泛的参与人体生理活动, 在保障氮平衡, 产生血清素, 增强体液免疫功能, 调节焦虑情绪, 愈合伤口和保持骨骼健康等方面起着重要作用, 而对荞麦制品的有效利用便成为补充机体色氨酸的重要途径。

然而,一种蛋白质的营养价值高,并不一定代表能够全部被人体吸收,EAA 的缺乏和过量都会导致蛋白质的生物利用率降低。只有当 EAA 的组成比例接近于模式蛋白时,吸收和利用的效果最佳。通过 RCAA 法进行评价,9 个品种中苯丙氨酸+酪氨酸与理想模式偏离程度最小。苯丙氨酸在体内经苯丙氨酸羟化酶催化作用氧化成酪氨酸,并与酪氨酸一起合成重要的神经递质和激素,参与机体糖代谢和脂肪代谢^[24]。西农 1513 的 SRCAA 值高于其他品种,说明该品种在蛋白质的生理平衡中偏离模式氨基酸的离散度总体更优,EAA 的分布最为均衡。

综上,荞麦是一种全价蛋白质的谷类作物,赖氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸和色氨酸含量丰富,应重视其营养价值的开发,加强与其他谷物的综合利用。对 9 个品种的荞麦进行氨基酸营养评价,结果显示,西农 1 513、灰苦荞和温沙 3 个品种最具长期推广价值,其中西农 1513 的鲜味最浓,赖氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸含量最丰富,与全蛋蛋白的贴进度最高,EAA 的组成最均衡,更利于人体吸收;灰苦荞的苏氨酸和色氨酸含量最丰富,其蛋白质的组成与模式值的拟合度最高;温沙的口感最好,与全蛋蛋白的蛋氨酸+胱氨酸组成最接近。同时可根据不同荞麦品种间的氨基酸含量差异,充分利用满足不同营养需求的品种,合理搭配其他品类食物,科学拓展谷物蛋白的综合利用价值。我国荞麦品种繁多,后续研究可以进一步扩大样本量,结合荞麦中其他营养素含量对营养评价和品种推荐提供更全面的探讨,为深度挖掘和开发优质的荞麦资源提供更加合理的理论基础。

参考文献

- [1] 张雨薇,景梦琳,李小平,等.不同种荞麦发芽前后蛋白质及氨基酸变化主成分分析与综合评价[J].食品与发酵工业,2017,43(7):214-221.
- [2] 杜双奎,李志西,于修焯,等.陕北荞麦粉营养分析[J].西部粮油科技,2002,27(5):59-61.
- [3] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准食品中氨基酸的测定:GB/T 5009.124-2016[S].北京:中国标准出版社,2017:1-10.
- [4] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.饲料中含硫氨基酸测定离子交换色谱法:GB/T 15399-2018[S].北京:中国标准出版社,2019:1-10.
- [5] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.饲料中氨基酸的测定:GB/T 18246-2019[S].北京:中国标准出版社,2020:1-10.
- [6] 王修宁,韩丽,张浩,等.食醋氨基酸指纹图谱的建立及特征分析[J].理化检验(化学分册),2016,52(9):1095-1099.
- [7] 吴望名.应用模糊集方法[M].北京:北京师范大学出版社,1985:26-28.
- [8] 杨永涛,潘思源,靳欣欣,等.不同品种核桃的氨基酸营养价值评价[J].食品科学,2017,38(13):207-212.
- [9] World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University. Energy and protein requirement[R]. Geneva: WHO, 1973:53-60.
- [10] 王晓媛,王彦兵,陈玉芹,等.6种石斛属植物氨基酸组成及营养价值评价[J].天然产物研究与开发,2019,31(4):601-607.
- [11] Seligson FH, Mackey LN. Variable predictions of protein quality by chemical score due to amino acid analysis and reference pattern[J]. J Nutri, 1984, 114(4):682-691.
- [12] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价:氨基酸比值系数法[J].营养学报,1988,10(2):187-190.
- [13] Oser BL. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein [J]. J Am Diet Assoc, 1951, 27(5):396-402.
- [14] 霍湘,王安利,杨建梅.含硫氨基酸的抗氧化作用[J].生物学通报,2006,41(4):3-4.
- [15] 刘文静,潘葳,吴建鸿.5种百香果系间氨基酸组成比较及评价分析[J].食品工业科技,2019,40(24):237-241.
- [16] Adeva-Andany MM, López-Maside L, Donapetry-García C, et al. Enzymes involved in branched-chain amino acid metabolism in humans[J]. Amino Acids, 2017,49(6):1005-1028.
- [17] 王梦倩,孙颖,邵丹青,等.青稞的营养价值和功效作用研究现状[J].食品研究与开发,2020,41(23):206-211.
- [18] 冯耐红,侯东辉,杨成元,等.不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J].食品工业科技,2020,41(8):224-229.
- [19] 颜孙安,姚清华,林香信,等.氨基酸营养价值评价方法的研究[J].食品科技,2012,37(4):286-290.
- [20] 高燕红,鲁琳,刘应亮.6种食用菌蛋白质与氨基酸的含量分析及评价[J].现代预防医学,2010,37(10):1843-1846, 1849.
- [21] 陈巧玲,李忠海,陈素琼.5种地产食用菌氨基酸组成比较及营养评价[J].食品与机械,2014,30(6):43-46, 81.
- [22] 吴莹莹,鲍大鹏,王瑞娟,等.6种市售工厂化栽培金针菇的氨基酸组成及蛋白质营养评价[J].食品科学,2018,39(10):263-268.
- [23] 左家信,冯家力,周丽平,等.湖南产地4种豆类蔬菜中氨基酸组成及营养评价[J].实用预防医学,2022,29(2):174-178.

收稿日期:2022-05-11